

Docket No.: 50395-236

PATENT

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

In re Application of	:	Customer Number: 20277
	:	
Motoki KAKUI	:	Confirmation Number:
	:	
Serial No.:	:	Group Art Unit:
	:	
Filed: November 04, 2003	:	Examiner:
	:	
For:		BROADBAND LIGHT SOURCE SUITABLE FOR PUMP MODULE FOR RAMAN AMPLIFICATION AND RAMAN AMPLIFIER USING THE SAME

**CLAIM OF PRIORITY AND
TRANSMITTAL OF CERTIFIED PRIORITY DOCUMENT**

Mail Stop CPD
Commissioner for Patents
P.O. Box 1450
Alexandria, VA 22313-1450

Sir:


In accordance with the provisions of 35 U.S.C. 119, Applicant hereby claim the priority of:

Japanese Patent Application No. JP 2002-332432, filed on November 15, 2002

cited in the Declaration of the present application. A certified copy is submitted herewith.

Respectfully submitted,

MCDERMOTT, WILL & EMERY


Arthur J. Steiner
Registration No. 26,106

600 13th Street, N.W.
Washington, DC 20005-3096
(202) 756-8000 AJS:gav
Facsimile: (202) 756-8087
Date: November 4, 2003

50395-236

Motoki KAKUI

~~October 4, 2003~~
November 4, 2003

日 本 国 特 許 庁

JAPAN PATENT OFFICE

McDermott, Will & Emery

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office

出 願 年 月 日

Date of Application:

2002年11月15日

出 願 番 号

Application Number:

特願2002-332432

[ST.10/C]:

[JP2002-332432]

出 願 人

Applicant(s):

住友電気工業株式会社

2003年 1月28日

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office

太田信一郎



【書類名】 特許願

【整理番号】 102Y0668

【提出日】 平成14年11月15日

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 G02F 1/35501

【発明者】

【住所又は居所】 神奈川県横浜市栄区田谷町1番地 住友電気工業株式会社
社横浜製作所内

【氏名】 角井 素貴

【特許出願人】

【識別番号】 000002130

【氏名又は名称】 住友電気工業株式会社

【代理人】

【識別番号】 100088155

【弁理士】

【氏名又は名称】 長谷川 芳樹

【選任した代理人】

【識別番号】 100089978

【弁理士】

【氏名又は名称】 塩田 辰也

【選任した代理人】

【識別番号】 100092657

【弁理士】

【氏名又は名称】 寺崎 史朗

【選任した代理人】

【識別番号】 100110582

【弁理士】

【氏名又は名称】 柴田 昌聰

【選任した代理人】

【識別番号】 100113435

【弁理士】

【氏名又は名称】 黒木 義樹

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 014708

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 ラマン増幅用励起モジュール

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 光導波路を伝搬する信号光をラマン増幅するための励起光を出力するラマン増幅用励起モジュールであって、

互いに異なる 2 以上の出力ピーク波長を有する光を出射する光源システムと、
入力ポートと出力ポートとを有し、該入力ポートから入力された前記光源システムからの光に非線形効果を及ぼして、該出力ポートから前記励起光として出力する非線形媒質体と、

を備えることを特徴とするラマン増幅用励起モジュール。

【請求項 2】 前記光源システムは、

互いに波長の異なる光を出射する 2 以上の光源部と、
前記 2 以上の光源部からの光を合波して出力する合波器と、
を備え、

前記 2 以上の光源部の少なくとも一の光源部は無温調の半導体レーザを含むことを特徴とする請求項 1 に記載のラマン増幅用励起モジュール。

【請求項 3】 前記光源システムは、2 以上の異なる波長で発振する一の多波長光源部を有することを特徴とする請求項 1 に記載のラマン増幅用励起モジュール。

【請求項 4】 前記光源システムから出射された光に含まれる前記 2 以上の出力ピーク波長から任意に選択された 2 つの出力ピーク波長の組み合わせのうち少なくとも 1 組について、2 つの出力ピーク波長の波長中心を λ_0 とし、該 λ_0 の非線形係数及び波長分散をそれぞれ γ 及び D とし、光速を c とし、2 つの出力ピーク波長でのパワーをそれぞれ P_1 及び P_2 としたとき、

2 つの出力ピーク波長の波長間隔 $\Delta \lambda$ が、

【数 1】

$$\Delta \lambda \leq \sqrt{\frac{\lambda_0 \gamma (P_1 + P_2 + 2\sqrt{P_1 P_2})}{\pi c |D|}}$$

の関係を満たすことを特徴とする請求項 1 に記載のラマン増幅用励起モジュール。

【請求項 5】 前記光源システムから出射された光に含まれる前記 2 以上の出力ピーク波長から任意に選択された 2 つの出力ピーク波長の組み合わせのうち少なくとも 1 組について、2 つの出力ピーク波長の波長間隔 $\Delta \lambda$ が 2 nm 以上であることを特徴とする請求項 1 に記載のラマン増幅用励起モジュール。

【請求項 6】 前記光源システムから出射された光に含まれる前記 2 以上の出力ピーク波長から任意に選択された 2 つの出力ピーク波長の組み合わせのうち少なくとも 1 組について、2 つの出力ピーク波長のうちパワーのより大きな一方の波長から見て、他方の波長と前記非線形媒質体のゼロ分散波長とが同じ側に存在することを特徴とする請求項 1 に記載のラマン増幅用励起モジュール。

【請求項 7】 前記非線形媒質体が光ファイバを含むことを特徴とする請求項 1 に記載のラマン増幅用励起モジュール。

【請求項 8】 前記光ファイバの非線形係数を γ [$1/W/km$] とし、伝送損失を α [dB/km] としたとき、

【数 2】

$$\gamma / \alpha > 13 \quad [1/W/dB]$$

の関係を満たすことを特徴とする請求項 7 に記載のラマン増幅用励起モジュール。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、信号光をラマン増幅するための励起光を出力するラマン増幅用励起モジュールに関する。

【0002】

【従来の技術】

ラマン増幅器は、光導波路中にラマン増幅用の励起光を供給して、この光ファイバ内を伝搬する信号光をラマン増幅するものである。このラマン増幅において

は、信号波長帯域において利得が均一であることが好ましい。そこで、非特許文献 1 には、前置光ファイバ中における非線形効果を利用し、一の励起光源からの励起光のスペクトル幅を広げることにより、ラマン利得のスペクトル幅を広げる技術が開示されている。

【 0 0 0 3 】

【非特許文献 1】

T.J.Ellingham et al, "ENHANCED RAMAN AMPLIFIER PERFORMANCE USING NON-LINEAR PUMP BROADENING", 28th European Conference on Optical Communication (ECOC2002), 8-12 September 2002, Tech. Dig., 4.1.3

【 0 0 0 4 】

【発明が解決しようとする課題】

しかしながら、上記した従来の技術では、励起光のスペクトルを広げるために、前置光ファイバに入力する励起光は 8 0 0 mW もの高出力とする必要があった。現在、光通信市場に流通する励起用半導体レーザの最高出力は 1 チップ当たり 3 0 0 ~ 3 5 0 mW であり、たとえ偏波合成したとしても、B O L (Beginning of life) から E O L (End of Life) までの経時劣化や、偏波合成器の挿入損失 (通常 0. 5 d B 以上) を考慮すると、前置光ファイバに入射できるのはせいぜい 4 5 0 ~ 5 3 0 mW である。他に、数 W 出力のファイバレーザも市販されているが、信頼性の点で問題がある。

【 0 0 0 5 】

本発明は、上記問題点を解消する為になされたものであり、励起光のスペクトル幅拡大を低出力の励起光源により実現可能なラマン増幅用励起モジュールを提供することを目的とする。

【 0 0 0 6 】

【課題を解決するための手段】

本発明に係るラマン増幅用励起モジュールは、光導波路を伝搬する信号光をラマン増幅するための励起光を出力するモジュールである。このモジュールは、互いに異なる 2 以上の出力ピーク波長を有する光を出射する光源システムと、入力ポートと出力ポートとを有し、入力ポートから入力された光源システムからの光

に非線形効果を及ぼして、出力ポートから励起光として出力する非線形媒質体と、を備えることを特徴とする。

【0007】

このラマン増幅用励起モジュールでは、光源システムから互いに異なる2以上の出力ピーク波長を有する光が出射される。そして、光源システムからの光は、入力ポートを介して非線形媒質体に入力され、非線形効果が及ぼされる。これにより、出力ポートから出力される励起光のスペクトル幅の拡大が、低出力の光源システムで実現される。

【0008】

本発明に係るラマン増幅用励起モジュールにおいて、光源システムは、互いに波長の異なる光を出射する2以上の光源部と、2以上の光源部からの光を合波して出力する合波器と、を備え、2以上の光源部の少なくとも一の光源部は無温調の半導体レーザを含むことを特徴としてもよい。このようにすれば、互いに異なる2以上の出力ピーク波長を有する光が容易に生成される。また、光源システムからの光は低出力でよいから、2以上の光源部の少なくとも一の光源部は無温調の半導体レーザを含むように構成することで、製造コスト及び消費電力の低減が図られる。

【0009】

本発明に係るラマン増幅用励起モジュールにおいて、光源システムは、2以上の異なる波長で発振する一が多波長光源部を有することを特徴としてもよい。このようにすれば、互いに異なる2以上の出力ピーク波長を有する光が容易に生成される。また、一が多波長光源部により構成することでモジュールの大型化が抑制される。

【0010】

本発明に係るラマン増幅用励起モジュールでは、光源システムから出射された光に含まれる2以上の出力ピーク波長から任意に選択された2つの出力ピーク波長の組み合わせのうち少なくとも1組について、2つの出力ピーク波長の波長中心を λ_0 とし、 λ_0 での非線形係数及び波長分散をそれぞれ γ 及び D とし、光速を c とし、2つの出力ピーク波長でのパワーをそれぞれ P_1 及び P_2 としたとき、

2つの出力ピーク波長の波長間隔 $\Delta\lambda$ が、

【0011】

【数3】

$$\Delta\lambda \leq \sqrt{\frac{\lambda_0 \gamma (P_1 + P_2 + 2\sqrt{P_1 P_2})}{\pi c |D|}}$$

の関係を満たすことを特徴としてもよい。このようにすれば、パラメトリック利得を得ることができ、2つの出力ピーク波長でのパワー P_1 及び P_2 の一方のパワーを低減することが可能となる。

【0012】

本発明に係るラマン増幅用励起モジュールでは、光源システムから出射された光に含まれる2以上の出力ピーク波長から任意に選択された2つの出力ピーク波長の組み合わせのうち少なくとも1組について、2つの出力ピーク波長の波長間隔 $\Delta\lambda$ が2nm以上であることを特徴としてもよい。このようにすれば、ラマン利得のスペクトル幅を有意に広げることができる。

【0013】

本発明に係るラマン増幅用励起モジュールでは、光源システムから出射された光に含まれる2以上の出力ピーク波長から任意に選択された2つの出力ピーク波長の組み合わせのうち少なくとも1組について、2つの出力ピーク波長のうちパワーのより大きな一方の波長から見て、他方の波長と非線形媒質体のゼロ分散波長とが同じ側に存在することを特徴としてもよい。このようにすれば、パラメトリック利得を好適に得ることが可能となる。

【0014】

本発明に係るラマン増幅用励起モジュールでは、非線形媒質体が光ファイバを含むことを特徴としてもよい。このようにすれば、非線形効果を容易に奏することが可能となる。

【0015】

本発明に係るラマン増幅用励起モジュールでは、光ファイバの非線形係数を γ [1/W/km]とし、伝送損失を α [dB/km]としたとき、 $\gamma/\alpha >$

1 3 [1/W/dB] の関係を満たすことを特徴としてもよい。このようにすれば、十分な非線形効果を得ることが可能となる。

【0016】

【発明の実施の形態】

以下、添付図面を参照して本発明の実施形態を詳細に説明する。なお、図面の説明において同一の要素には同一の符号を付し、重複する説明を省略する。

【0017】

まず、本発明を想到するに至った経緯について説明する。従来技術で説明したように、前置光ファイバ中における非線形効果を利用して励起光のスペクトル幅を広げるとき、非線形効果の大きさは、

【0018】

【数4】

$$(\gamma/\alpha)^2 \cdot (P_{in} - P_{out})^2 \dots (1)$$

で近似できる。ここで、 γ は非線形係数、 α は前置光ファイバの伝送損失である。 P_{in} は前置光ファイバへ入力する光のパワー、 P_{out} は前置光ファイバから出力する光のパワーである。ちなみに、非特許文献1に開示の技術では、前置光ファイバにNZDSF (Non-zero Dispersion-shifted Fiber) が使用されており、 γ が4 [1/W/km] 程度、 α が1.45 μ m帯で0.3 [dB/km] である。 P_{in} 及び P_{out} を一定としたとき、 γ/α についてより高い値をとれば、大きな非線形効果を得られる。非特許文献1に開示の例では、 γ/α は13 [1/W/dB] となる。

【0019】

これに対し、例えばコアとクラッドとの間の比屈折率差を2.9%程度、実効モード断面積を11 μ m²、ゼロ分散波長を1491 nm、分散スロープ0.04 ps/nm²/kmをとした高非線形光ファイバ (HNLF) では、20 [1/W/km] 程度の γ と、1.45 μ m帯で0.8 [dB/km] の α が実現可能である。このHNLFでは、 γ/α は25 [1/W/dB] となり、仮に非特許文献1に開示の技術と同様の P_{in} 及び P_{out} となるファイバ長 (約8 kmとな

る) で用いたとすると、非特許文献 1 に開示の技術と比較して 4 倍近い非線形効果を得ることができる。

【0020】

ここで、ラマン増幅には高いパワーの励起光が必要であるが、非特許文献 1 に開示の技術では、ラマン励起用の光源の後段に挿入した前置光ファイバは 8 dB もの挿入損失を有している。本来、このように大きな挿入損失を生じる光ファイバを接続すること自体実用的でなく、前置光ファイバは可能な限り短くして挿入損失の低減を図る必要がある。そこで、HNLF の長さを 1 km まで短くして、5 種類の異なるパワーの光を入力したときの、HNLF から出力される光のスペクトルを測定した。図 1 にその結果を示す。なお、図 1 において、L1、L2、L3、L4、及び L5 は、それぞれ 25 mW、141 mW、398 mW、631 mW、及び 794 mW の光を入力したときの、出力光のスペクトルを示している。

【0021】

この HNLF では、挿入損失は 1.8 dB 程度に抑えられている。しかしながら、このような HNLF でも、図 1 に示すように、800 mW のパワーの光が入力されても、出力される光のスペクトルは中心波長に単一ピークのままであり、半値全幅も 0.7 nm から 1.1 nm 程度にしか広がらない。

【0022】

そこで、ラマン増幅のための励起波長を複数利用することを考えた。図 2 (a) は、2 つの励起波長の波長間隔を変えたときのラマン利得のスペクトルの一例を示している。なお、図 2 (a) において、L1 は一つの励起波長のとき (波長 : 1452 nm、パワー : 200 mW)、L2 は上記波長を中心として励起波長が ± 2 nm に分裂したとき、L3 は上記波長を中心として励起波長が ± 3 nm に分裂したとき、L4 は上記波長を中心として励起波長が ± 4 nm に分裂したとき、L5 は上記波長を中心として励起波長が ± 6 nm に分裂したとき、L6 は上記波長を中心として励起波長が ± 8 nm に分裂したとき、のラマン利得のスペクトルを示している。そして、図 2 (b) は、図 2 (a) のラマン利得のスペクトルにおいて、ピークから -20% 及び -40% の利得レベルでのスペクトル幅を示

している。なお、ラマン利得のスペクトルの測定においては、光ファイバとして 8 0 k m のシングルモード光ファイバ (S M F) を利用した。

【 0 0 2 3 】

図 2 (a) に示すように、励起波長を複数利用したとき、ラマン利得のスペクトル幅は広げられる。そして、図 2 (b) に示すように、励起波長の波長間隔を 4 n m 以上とすることで、単一の励起波長のときと比較して、ラマン利得のスペクトル幅を好適に広げられることが分かった。

【 0 0 2 4 】

そこで、複数の励起波長を有する励起光を得るために、複数の励起光源を利用することを考えた。このとき、励起光源の数が増えるためコスト的に不利となるおそれがある。しかしながら、非線形媒質体の非線形効果を利用することにより、一の励起光源からの光のパワーを極めて低く抑えることができ、安価な励起光源を利用することが可能となって、コストの上昇を抑制することができることを見出した。本発明は、以上のような発明者の知見に基づいてなされたものである。

【 0 0 2 5 】

次に、本発明の実施形態について説明する。

(第 1 実施形態)

図 3 は、本実施形態に係るラマン増幅用励起モジュールを備えたラマン増幅器の構成を示す図である。

【 0 0 2 6 】

ラマン増幅器 1 0 は、図 3 に示すように、入力端 1 2 及び出力端 1 4 と、ラマン増幅用光ファイバ 1 6 及び合波モジュール 1 8 と、ラマン増幅用励起モジュール 2 0 と、を備えている。

【 0 0 2 7 】

ラマン増幅用光ファイバ 1 6 及び合波モジュール 1 8 は、入力端 1 2 から出力端 1 4 に向かって順に配置されている。この合波モジュール 1 8 は、例えば誘電体多層膜フィルタから構成されており、ラマン増幅用光ファイバ 1 6 を伝搬する信号光とラマン増幅用励起モジュール 2 0 からの励起光とを合波する。

【 0 0 2 8 】

ラマン増幅用励起モジュール 2 0 は一つの出力ポート 2 2 を有し、この出力ポート 2 2 を介して合波モジュール 1 8 に接続されている。このラマン増幅用励起モジュール 2 0 は、光源システム 2 4 と、非線形媒質体 2 6 と、を備えている。

【 0 0 2 9 】

光源システム 2 4 は、互いに波長の異なる光を出射する 2 以上の光源部 2 8, 3 0 と、これら 2 以上の光源部 2 8, 3 0 からの光を合波して出力する合波器 3 2 と、を有している。なお、本実施形態では第 1 の光源部 2 8 及び第 2 の光源部 3 0 の、2 つの光源部を有する場合について説明する。これら第 1 及び第 2 の光源部 2 8, 3 0 の少なくとも一方は、実用的な光源である半導体レーザから構成すると好ましい。

【 0 0 3 0 】

本実施形態では、第 1 の光源部 2 8 は、例えば発振波長が 1 4 8 0 n m で出射パワーが 4 0 0 m W の半導体レーザから構成されている。第 2 の光源部 3 0 は、第 1 の光源部 2 8 よりも 2 5 d B 程度低いパワーの光を出射する半導体レーザから構成されている。このように、第 1 及び第 2 の光源部 2 8, 3 0 は出射パワーが比較的小さいため、少なくとも第 2 の光源部 3 0 は、無温調の半導体レーザから構成することができる。これにより、製造コスト及び消費電力の低減が図られる。

【 0 0 3 1 】

合波器 3 2 は、溶融型あるいは誘電体多層膜フィルタによる合波フィルタから構成されている。この合波器 3 2 により、第 1 及び第 2 の光源部 2 8, 3 0 からの光が合波される。これにより、光源システム 2 4 は、互いに異なる 2 つの出力ピーク波長を有する光を出射する。

【 0 0 3 2 】

非線形媒質体 2 6 は、入力ポート 3 4 と出力ポート 3 6 とを有する。この非線形媒質体 2 6 は、入力ポート 3 4 から入力された光源システム 2 4 からの光に非線形効果を及ぼして、出力ポート 3 6 から出力する。このような非線形媒質体 2 6 としては、光ファイバや平面光導波路が挙げられるが、光ファイバを利用する

と好ましい。このようにすれば、導波路長を容易に増すことができ、非線形効果を容易に得ることが可能となる。

【 0 0 3 3 】

そして、光ファイバ 2 6 の非線形係数を γ [$1/W/km$] とし、伝送損失を α [dB/km] としたとき、 $\gamma/\alpha > 13$ [$1/W/dB$] の関係を満たすように構成すると好ましい。このようにすれば、非特許文献 1 に開示の技術と等しい入出力条件の下で、より大きな非線形効果を得ることが可能となる。本実施形態では、光ファイバ 2 6 として、 γ/α が 25 [$1/W/dB$] である上記説明した HNLF を用いており、ゼロ分散波長が 1491 nm である。

【 0 0 3 4 】

図 4 は、上記した構成のラマン増幅用励起モジュール 20 から出力される励起光の出力スペクトルを示す図である。なお、図 4 (a) ~ (d) は、第 2 の光源部 30 から出射される光の波長をそれぞれ 1472 nm、1476 nm、1484 nm、及び 1488 nm とした場合を示している。そして、図 4 (a) ~ (d) のそれぞれにおいて、L1、L2、L3、L4、及び L5 のそれぞれは、第 1 の光源部 28 からの光のパワーがそれぞれ 25 mW、141 mW、398 mW、631 mW、及び 794 mW の場合のスペクトルを示している。

【 0 0 3 5 】

図 4 (c) に示すように、第 1 の光源部 28 からの光の波長（第 1 の励起波長）が 1480 nm で、第 2 の光源部 30 からの光の波長（第 2 の励起波長）が 1484 nm のとき、第 1 の光源部 28 からの光のパワーが 400 mW で、第 1 の励起波長でのパワーの $1/2$ を越えるパワーが、第 2 の励起波長に配分されている。即ち、半値全幅としては 4 nm を越えるスペクトル幅が得られる。ここで、単一ピークのスペクトルでは、半値全幅とはピーク波長でのパワーの半分のパワーのところでのスペクトル幅のことを指すが、図 4 (c) に示すように、複数のピークが現れる場合は、第 1 の励起波長でのパワーの半分のパワーが得られる最大の波長と最小の波長との波長間隔のことを指す。

【 0 0 3 6 】

このように、本実施形態に係るラマン増幅器 10 では、パラメトリック増幅を

利用することにより、低出力の光源システム 2 4 でラマン増幅用励起モジュール 2 0 から出力される励起光のスペクトル幅の拡大が図られ、もってラマン利得のスペクトル幅を拡大することが可能となる。

【 0 0 3 7 】

なお、第 1 及び第 2 の励起波長について、パラメトリック増幅に適した波長間隔には限界があり、非線形媒質体 2 6 の分散値 D にも依存するが、あまり広い波長間隔ではパラメトリック利得を得ることが難しい。

【 0 0 3 8 】

ここで、パラメトリック利得 g は、

【 0 0 3 9 】

【数 5】

$$g = [4 \gamma^2 (P_1 P_2) - (\gamma (P_1 + P_2) + \Delta k / 2)^2]^{1/2} \quad \dots \quad (2)$$

で近似できる。上記 (2) 式において、波数ベクトルの位相不整合成分を表す Δk は、

【 0 0 4 0 】

【数 6】

$$\Delta k \approx 2 \pi D \cdot c \cdot \Delta \lambda^2 / \lambda_0^2 \quad \dots \quad (3)$$

で表される。ここで、 P_1 及び P_2 はそれぞれ 2 つの励起波長 λ_1 及び λ_2 でのパワーを示し、 λ_0 は第 1 の励起波長と第 2 の励起波長との間の波長中心を示し、 γ 及び D はそれぞれ λ_0 での非線形係数及び波長分散を示し、 c は光速を示す。なお、波長中心 λ_0 は、

【 0 0 4 1 】

【数 7】

$$\lambda_0 = \frac{\sum_i \lambda_i \cdot P_i}{\sum_i P_i}$$

で表される。ここで、 i は励起波長の番号を示している。

【0042】

これら (2) 式及び (3) 式から、2つの励起波長の波長間隔 $\Delta\lambda$ は、

【0043】

【数8】

$$\Delta\lambda \leq \sqrt{\frac{\lambda_0 \gamma (P_1 + P_2 + 2\sqrt{P_1 P_2})}{\pi c |D|}} \quad \dots (4)$$

の関係を満たすのが好ましい。この波長間隔 $\Delta\lambda$ の上限は、2つの励起波長でのパワーにも依存するものの、例えば上記 HNL F (D は -0.44 ps/nm/km) について、 P_1 を 400 mW とし、 P_2 を 1.3 mW とし、第1の励起波長を 1480 nm としたとき、およそ 7 nm となる。仮に、第2の励起波長を 1488 nm としたとき、波長間隔 $\Delta\lambda$ が 7 nm を越えているため、図4 (d) に示すようにパラメトリック増幅が不十分で、第1の励起波長以外の波長でのパワーの成長がなく、半値全幅の拡大に至らない。これは、図4 (a) に示すように、第2の励起波長を 1472 nm としたときも同様である。

【0044】

なお、図4 (b) に示すように、第2の励起波長が 1476 nm のときは、波長間隔 $\Delta\lambda$ が 4 nm でパラメトリック利得を得るための限界値よりも小さい場合であっても、第1の励起波長でのパワーの第2の励起波長への配分が十分でない。これは、第2の励起波長 (1476 nm) が、第1の励起波長 (1480 nm) から見て、HNL F のゼロ分散波長 (1491 nm) と同じ側に存在しないためである。よって、本実施形態に係るラマン増幅用励起モジュール20においては、2つの励起波長 (出力ピーク波長) のうちパワーのより大きな一方の波長から見て、他方の波長と非線形媒質体26のゼロ分散波長とが同じ側に存在すると好ましい。

【0045】

また、第1及び第2の励起波長の波長間隔 $\Delta\lambda$ が 2 nm 以上であると、ラマン利得のスペクトル幅を有意に広げることができるため好ましい。

【 0 0 4 6 】

図 5 は、図 4 に示す場合において、非線形媒質体 2 6 へのトータル入力 が 4 0 mW のとき、この非線形媒質体 2 6 から出力された励起光を、ラマン増幅用光ファイバ 1 6 に逆方向から注入したときのラマン利得のスペクトルを示す図である。図 5 において、L 1、L 2、L 3、及び L 4 のそれぞれは、第 2 の励起波長がそれぞれ 1 4 7 2 nm、1 4 7 6 nm、1 4 8 4 nm、及び 1 4 8 8 nm の場合のスペクトルを示している。この場合において、ラマン増幅用光ファイバ 1 6 としては、全長が 8 0 km、1. 5 5 μ m 帯における実効断面積が 1 1 0 μ m² の純シリカコアファイバを用いた。なお、比較のため、図 6 に第 2 の励起波長を利用することなく、第 1 の励起波長 (1 4 8 0 nm) のみを非線形媒質体 2 6 に入力して出力された励起光を、ラマン増幅用光ファイバ 1 6 に逆方向から注入したときのラマン利得のスペクトルを示す。なお図 6 において、L 1 及び L 2 のそれぞれは、非線形媒質体によるスペクトル拡大効果がないときと、図 1 の L 3 のときの場合のスペクトルを示している。

【 0 0 4 7 】

図 5 及び図 6 に示すように、複数の励起波長を利用することで、ラマン利得のスペクトル幅の拡大が図られる。また図 5 に示すように、第 2 の励起波長が 1 4 7 2 nm 及び 1 4 8 8 nm のときには、スペクトルの頂上付近でリップルが生じる。これは、図 6 に示すように、第 1 の励起波長のみを利用する場合も同様である。これに対し、図 5 に示すように、第 2 の励起波長が 1 4 7 6 nm 及び 1 4 8 4 nm のときには、頂上付近のリップルが消滅し、滑らかなスペクトルが実現できる。

【 0 0 4 8 】

以上、本実施形態では、光源システム 2 4 から互いに異なる 2 以上の出力ピーク波長を有する光が出射され、入力ポート 3 4 を介して非線形媒質体 2 6 に入力され、非線形効果が及ぼされる。これにより、励起光のスペクトル幅の拡大を、パラメトリック増幅を利用して低出力の光源システム 2 4 で実現することが可能となる。そして、励起光のスペクトル幅の拡大が図られることでラマン利得のスペクトル幅の拡大が図られ、またリップルの低減を図ることが可能となる。

(第 2 実施形態)

次に、本発明の第 2 実施形態について説明する。なお、上記した第 1 実施形態で説明した要素と同一の要素には同一の符号を附し、重複する説明を省略する。

【0049】

図 7 は、本実施形態に係るラマン増幅用励起モジュール 4 2 を備えたラマン増幅器 4 0 の構成を示す図である。

【0050】

ラマン増幅器 4 0 は、図 7 に示すように、入力端 1 2 及び出力端 1 4 と、光アイソレータ 4 4、4 6 と、ラマン増幅用光ファイバ 1 6 と、合波モジュール 1 8、4 8 と、ラマン増幅用励起モジュール 4 2 と、を備えている。

【0051】

光アイソレータ 4 4、合波モジュール 4 8、ラマン増幅用光ファイバ 1 6、合波モジュール 1 8、及び光アイソレータ 4 6 は、入力端 1 2 から出力端 1 4 に向かって順に配置されている。

【0052】

ラマン増幅用励起モジュール 4 2 は 2 つの出力ポート 2 2、5 0 を有し、一の出力ポート 2 2 が合波モジュール 1 8 に、他の出力ポート 5 0 が合波モジュール 4 8 にそれぞれ接続されている。このラマン増幅用励起モジュール 4 2 は、光源システム 5 2 と、非線形媒質体 2 6 と、を備えている。非線形媒質体 2 6 は、第 1 実施形態で説明したのと同様である。

【0053】

光源システム 5 2 は、互いに波長の異なる光を出射する 2 以上の光源部 2 8、3 0 と、これら 2 以上の光源部 2 8、3 0 からの光を合波して出力する合波器 5 4 と、を有している。なお、本実施形態でも、第 1 の光源部 2 8 及び第 2 の光源部 3 0 の、2 つの光源部を有する場合について説明する。これら第 1 及び第 2 の光源部 2 8、3 0 の少なくとも一方は、実用的な光源である半導体レーザから構成すると好ましい。

【0054】

本実施形態では、第 1 の光源部 2 8 は、例えば発振波長が 1 4 8 0 nm で出射



パワーが約 4 0 0 mW の半導体レーザから構成されている。第 2 の光源部 3 0 は、第 1 の光源部 2 8 よりも 2 5 0 mW 級の半導体レーザから構成されている。第 2 の光源部 3 0 の出射ポートには、デポライザが挿入されてもよい。このように、第 1 及び第 2 の光源部 2 8, 3 0 は出射パワーが比較的小さいため、少なくとも第 2 の光源部 3 0 は、無温調の半導体レーザから構成することができる。これにより、製造コスト及び消費電力の低減が図られる。

【 0 0 5 5 】

合波器 5 4 は、波長依存性の小さい分岐カプラから構成されている。一般に、合波器 5 4 は、溶融型あるいは誘電体多層膜フィルタによる合波フィルタから構成されるのが望ましい。しかしながら、第 1 及び第 2 の光源部 2 8, 3 0 から出射される光の波長間隔が狭すぎると、合波フィルタの設計及び製造が困難となる。ここで、第 1 及び第 2 の光源部 2 8, 3 0 からの光パワーを上げれば許容される波長間隔は広がるが、非線形効果によるスペクトル幅の拡大を比較的低出力で実現しようとする、波長間隔は狭くならざるを得ない。また、ラマン増幅器 4 0 の励起波長は用途により千差万別であり、これに最適化した合波フィルタをその都度設計するのは、コスト的に不利である。そこで本実施形態では、合波器 5 4 を、波長依存性の小さい分岐カプラから構成し、特に 2 入力 2 出力の分岐カプラから構成した。この場合、第 1 の励起波長でのパワーの維持が優先される。例えば、1 0 d B カプラを用いたとき、過剰損失 0. 1 d B のカプラでは、第 1 の励起波長の光は 0. 6 d B の損失を被り、第 2 の励起波長の光は 1 0. 1 d B の損失を被る。とはいえ、第 1 実施形態からも判る通り、第 1 の励起波長の光が 4 0 0 mW のとき、第 2 の励起波長の光は 1. 3 mW で良いので、たとえペルチェクーラーの無い 2 0 mW 級の廉価な半導体レーザであってもよい。

【 0 0 5 6 】

この合波器 5 4 により、第 1 及び第 2 の光源部 2 8, 3 0 からの光が合波されることで、光源システム 5 2 は、互いに異なる 2 つの出力ピーク波長を有する光を出射する。ただし、本実施形態では合波器 5 4 により合波された光は所望の割合にパワー分岐され、一方が入力ポート 3 4 から非線形媒質体 2 6 に入力され、他方が出力ポート 5 0 から合波モジュール 4 8 に出力される。

【 0 0 5 7 】

このように、本実施形態に係るラマン増幅用励起モジュール 4 2 においても、第 1 実施形態で説明したのと同様に、互いに異なる 2 つの出力ピーク波長を有する光が非線形媒質体 2 6 に入力されることで、非線形効果が及ぼされて、励起光のスペクトル幅の拡大を、パラメトリック増幅を利用して低出力の光源システム 5 2 で実現することが可能となる。

【 0 0 5 8 】

それだけでなく、本実施形態では 2 入力 2 出力の分岐カプラを利用しているため、第 2 の励起波長の光も有効に活用することができる。このとき、第 2 の光源部 3 0 には、順方向励起に適した相対強度雑音の小さいファブリーペローレーザを使用すると好ましい。図 4 は、第 1 及び第 2 の光源部のいずれも単一波長光源の場合の結果を示していたが、ファブリーペローレーザのように、複数の縦モードを有する光源を使用しても良い。

【 0 0 5 9 】

1 0 d B 分岐カプラ 5 4 により、第 1 の光源部 2 8 からの光（波長 1 4 8 0 n m）と、1 4 8 0 n m 帯ファブリーペローレーザ（縦モード間隔は 0 . 4 n m）による第 2 の光源部 3 0 からの光を合波し、第 1 実施形態と同様の H N L F に入力して出力される励起光のスペクトルを測定した。図 8 はその結果を示している。なお、図 8 において、L 1、L 2、L 3、L 4、及び L 5 のそれぞれは、第 1 の光源部 2 8 からの光のパワーがそれぞれ 2 5 m W、1 4 1 m W、3 9 8 m W、6 3 1 m W、及び 7 9 4 m W の場合のスペクトルを示している。図 8 に示すように、第 1 の光源部 2 8 からの光のパワーが 4 0 0 m W で第 2 の光源部 3 0 からの光のパワーが 1 0 m W のとき、半値全幅が 1 0 n m を越え、励起光のスペクトル幅の拡大が図られる。

【 0 0 6 0 】

図 9 は、分岐カプラ 5 4 を介して波長 1 4 8 0 n m でパワーが 4 0 0 m W の第 1 の光源部 2 8 からの光と、トータルパワーが 1 0 m W の第 2 の光源部 3 0（上記 1 4 8 0 n m 帯ファブリーペローレーザ）からの光とを非線形媒質体 2 6 へ入力するときの、入力光のスペクトルを示す図である。なお図 9 において、A は第

1の光源部28からの光に基づくスペクトルを示し、Bは第2の光源部30からの光に基づくスペクトルを示している。

【0061】

そして図10は、非線形媒質体26から出力された励起光を、合波モジュール18を介してラマン増幅用光ファイバ16に逆方向から入力し、且つ上記第2の光源部30からのパワーが125mWの励起光を合波モジュール48を介してラマン増幅用光ファイバ16に順方向に入力したときのラマン利得のスペクトルを示す図である。この場合において、ラマン増幅用光ファイバ16としては、全長が4kmの分散補償光ファイバを用いた。

【0062】

図10に示すように、ラマン利得のピークから見て-40%の利得レベルでのスペクトル幅は、単一の励起波長で励起するときのスペクトル幅である約42nmから10%程度拡張される。

【0063】

以上、本実施形態では、光源システム52から互いに異なる2以上の出力ピーク波長を有する光が出射され、入力ポート34を介して非線形媒質体26に入力され、非線形効果が及ぼされる。これにより、励起光のスペクトル幅の拡大を、パラメトリック増幅を利用して低出力の光源システム52で実現することが可能となる。そして、励起光のスペクトル幅の拡大が図られることでラマン利得のスペクトル幅の拡大が図られ、またリップルの低減を図ることが可能となる。

【0064】

また、分岐カプラ54により第1及び第2の光源部28、30からの光を合波するように構成したため、これらの光源部からの光が低出力で波長間隔が狭くても合波することができる。

【0065】

また、分岐カプラ54の分岐された光を出力ポート50から出力し、合波モジュール48よりラマン増幅用光ファイバ16に前方入射させることにより、第2の励起波長の光もラマン増幅に有効に活用することが可能となる。

【0066】

なお、上記した第 1 或いは第 2 実施形態に係るラマン増幅器 1 0, 4 0 を用いて、図 1 1 に示すように、光通信システム 6 0 を構成することができる。この光通信システム 6 0 は、送信局 6 2 及び受信局 6 4 と、これら送信局 6 2 及び受信局 6 4 の間に設けられた中継局 6 6, 6 8 を備えている。送信局 6 2 と中継局 6 6 との間には光ファイバ伝送路 7 0 が敷設され、中継局 6 6 と中継局 6 8 との間に光ファイバ伝送路 7 2 が敷設され、また、中継局 6 8 と受信局 6 4 との間に光ファイバ伝送路 7 4 が敷設されている。そして、中継局 6 6, 6 8 には、上述した第 1 或いは第 2 実施形態に係るラマン増幅器 1 0, 4 0 が設けられている。

【 0 0 6 7 】

この光通信システム 6 0 では、送信局 6 2 から送出された多波長の信号光は、光ファイバ伝送路 7 0 を伝搬して、中継局 6 6 内のラマン増幅器 1 0, 4 0 によりラマン増幅され、光ファイバ伝送路 7 2 を伝搬して、中継局 6 8 内のラマン増幅器 1 0, 4 0 によりラマン増幅され、更に光ファイバ伝送路 7 4 を伝搬して、受信局 6 4 に到達し、この受信局 6 4 において各波長の信号光が分波され受信される。この光通信システム 6 0 では、ラマン利得のスペクトル幅が拡大及びリップルの低減が図られた、上記した第 1 或いは第 2 実施形態に係るラマン増幅器 1 0, 4 0 により信号光がラマン増幅される。

【 0 0 6 8 】

なお、中継器 6 6, 6 8 にラマン増幅器 1 0 を設けるのではなく、上記の第 1 実施形態に係るラマン増幅用励起モジュール 2 0 を中継器 6 6, 6 8 に設け、中継器 6 6, 6 8 内のラマン増幅用励起モジュール 2 0 から出力されたラマン増幅用の励起光を光ファイバ伝送路 7 0, 7 2 に供給するようにしてもよい。この場合、光ファイバ伝送路 7 0, 7 2 がラマン増幅用光ファイバとして用いられる。

【 0 0 6 9 】

本発明は上記した実施形態に限定されるものではなく、種々の変形が可能である。

【 0 0 7 0 】

例えば、上記した実施形態では、光源システム 2 4, 5 2 が、互いに波長の異なる光を出射する 2 以上の光源部 2 8, 3 0 と、これら 2 以上の光源部 2 8, 3

0からの光を合波して出力する合波器32, 54と、を有する構成とした。しかしながら、非線形媒質体26にはパラメトリック増幅に適した波長間隔の複数の光を入力できればよいため、光源システム24, 52は、2以上の異なる波長で発振する一が多波長光源部、例えば多波長で発振可能な多波長半導体レーザから構成してもよい。このようにすれば、一が多波長光源部により構成されることで、モジュールの大型化が抑制される。

【0071】

【発明の効果】

本発明によれば、励起光のスペクトル幅拡大を低出力の励起光源により実現可能なラマン増幅用励起モジュールが提供される。

【図面の簡単な説明】

【図1】

5種類の異なるパワーの光（単一ピークの光）を入力したときの、非線形媒質体としてのHNLFから出力される光のスペクトルを示す図である。

【図2】

図2（a）は、2つの励起波長の波長間隔を変えたときのラマン利得のスペクトルの一例を示す図である。図2（b）は、図2（a）のラマン利得のスペクトルにおいて、ピークから-20%及び-40%の利得レベルでのスペクトル幅を示す図である。

【図3】

第1実施形態に係るラマン増幅器の構成を示す図である。

【図4】

第1実施形態に係るラマン増幅器が備えるラマン増幅用励起モジュールから出力される励起光の出力スペクトルを示す図である。

【図5】

図4に示す場合において具体的なラマン利得のスペクトルを示す図である。

【図6】

単一の励起波長のみを利用したときの比較例としてのラマン利得のスペクトルを示す図である。

【図 7】

第 2 実施形態に係るラマン増幅器の構成を示す図である。

【図 8】

第 2 実施形態に係るラマン増幅器が備えるラマン増幅用励起モジュールから出力される励起光の出力スペクトルを示す図である。

【図 9】

第 2 実施形態に係るラマン増幅器において、非線形媒質体に入力される光のスペクトルの一例を示す図である。

【図 1 0】

第 2 実施形態に係るラマン増幅器において、ラマン利得のスペクトルの一例を示す図である。

【図 1 1】

ラマン増幅器を備えた光通信システムの構成を示す図である。

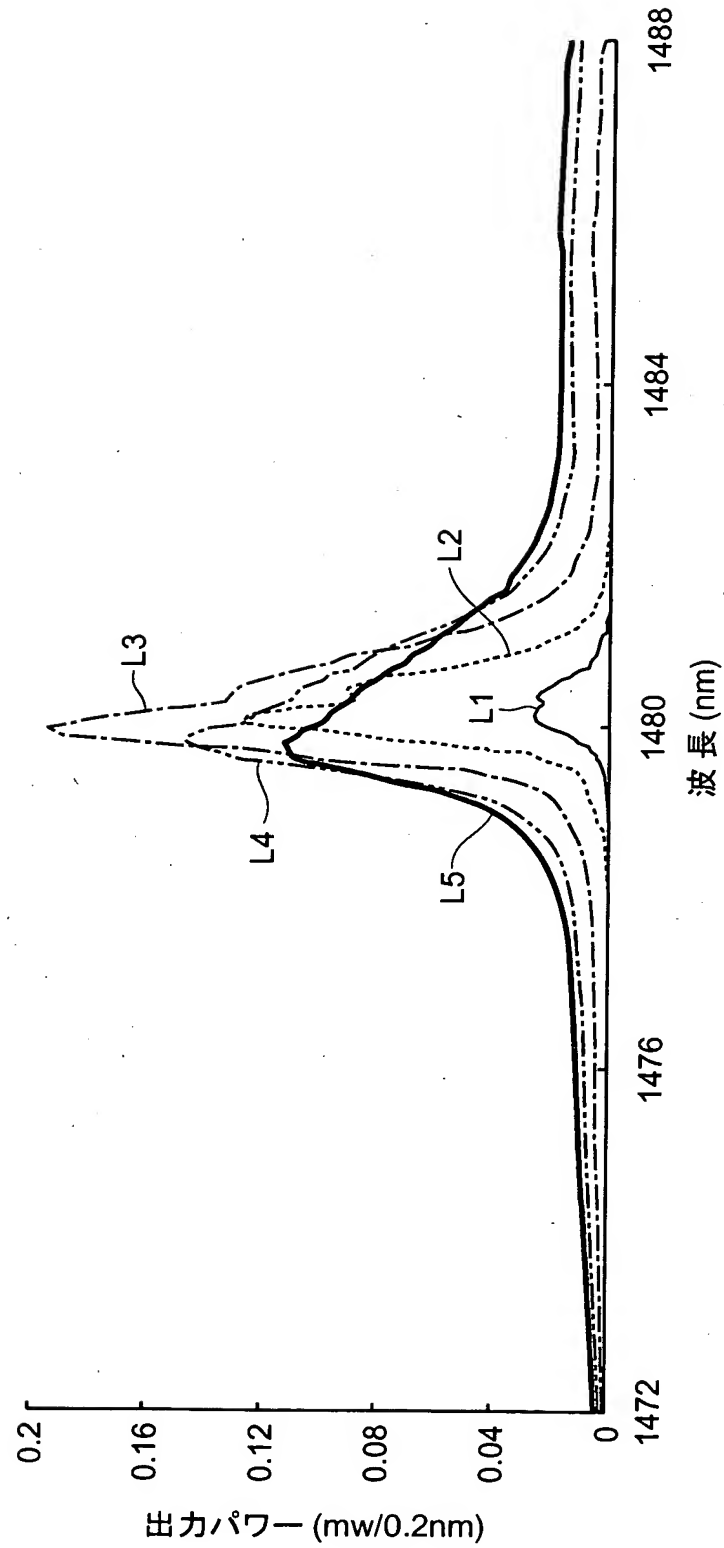
【符号の説明】

2 0, 4 2 …ラマン増幅用励起モジュール、2 4, 5 2 …光源システム、3 4 …入力ポート、3 6 …出力ポート、2 6 …非線形媒質体、2 8 …第 1 の光源部、3 0 …第 2 の光源部、3 2, 5 4 …合波器、1 0, 4 0 …ラマン増幅器、6 0 …光通信システム。

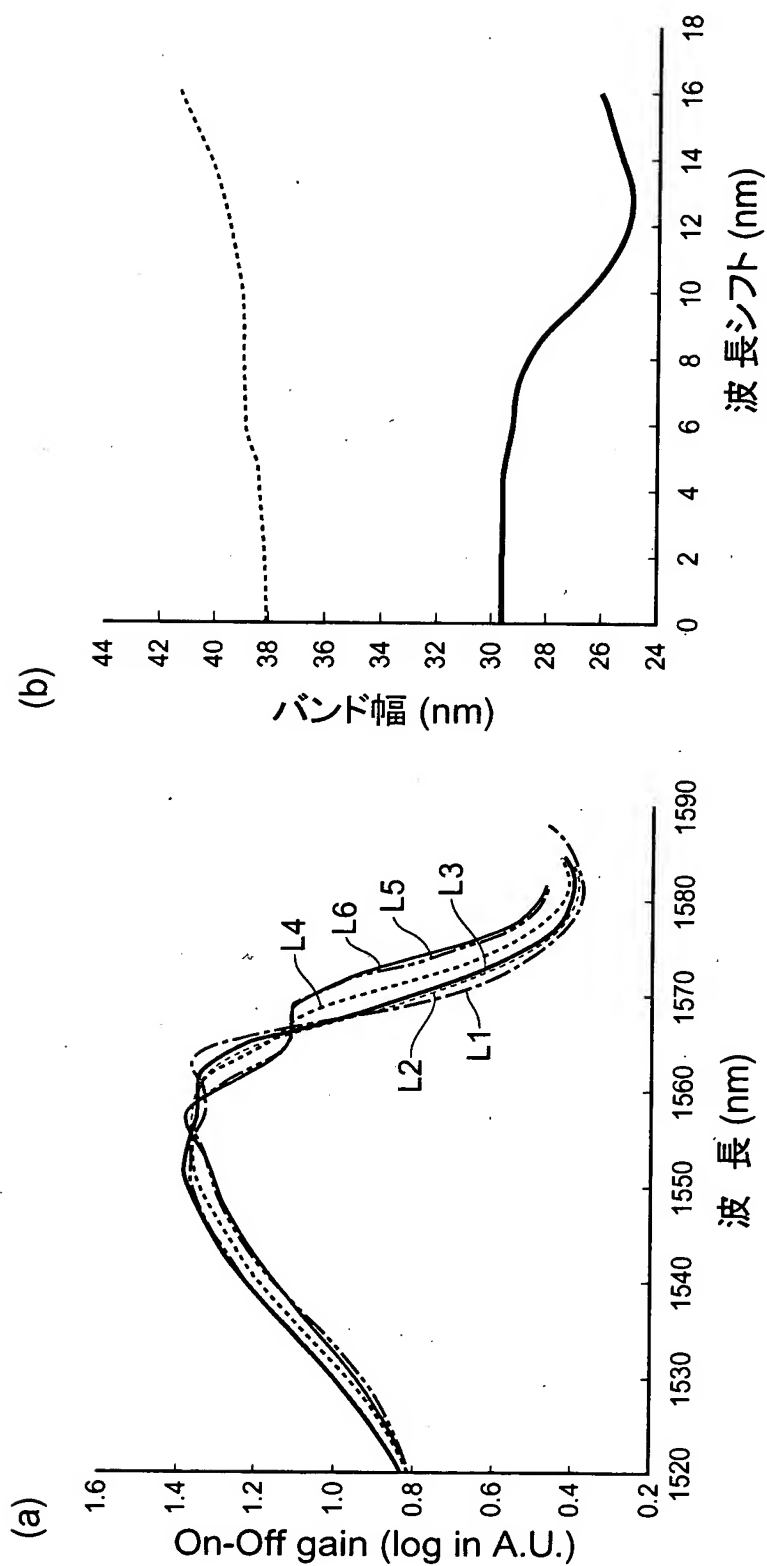
【書類名】

図面

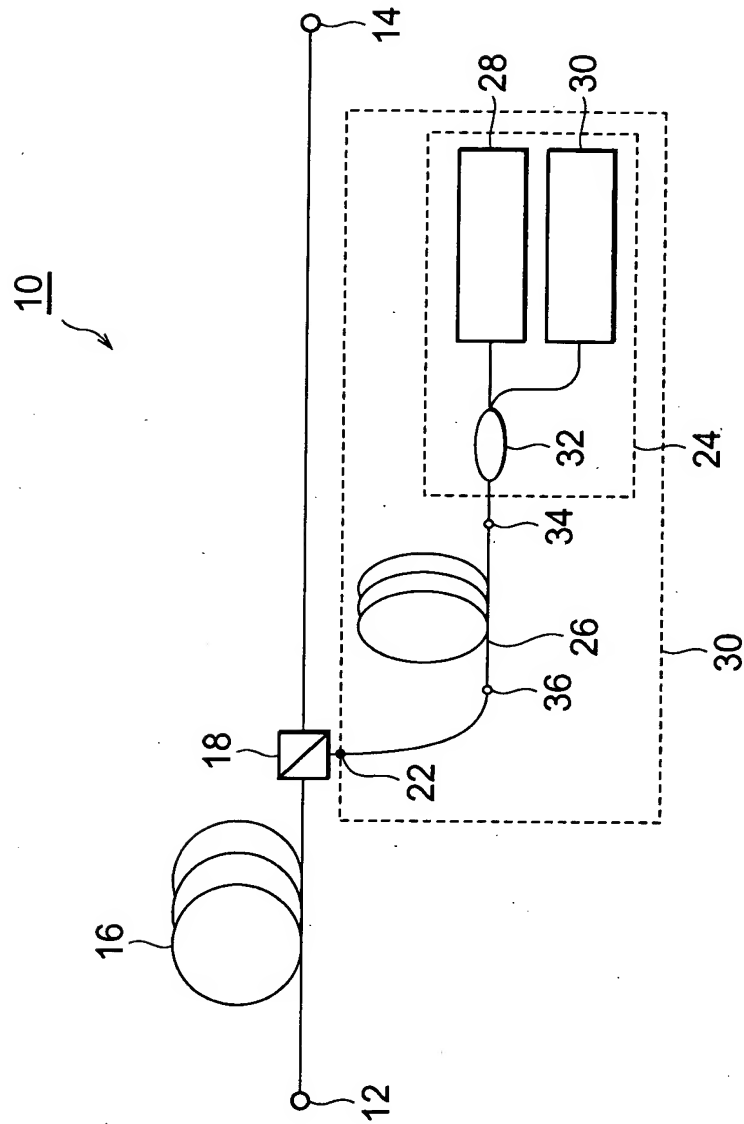
【図 1】



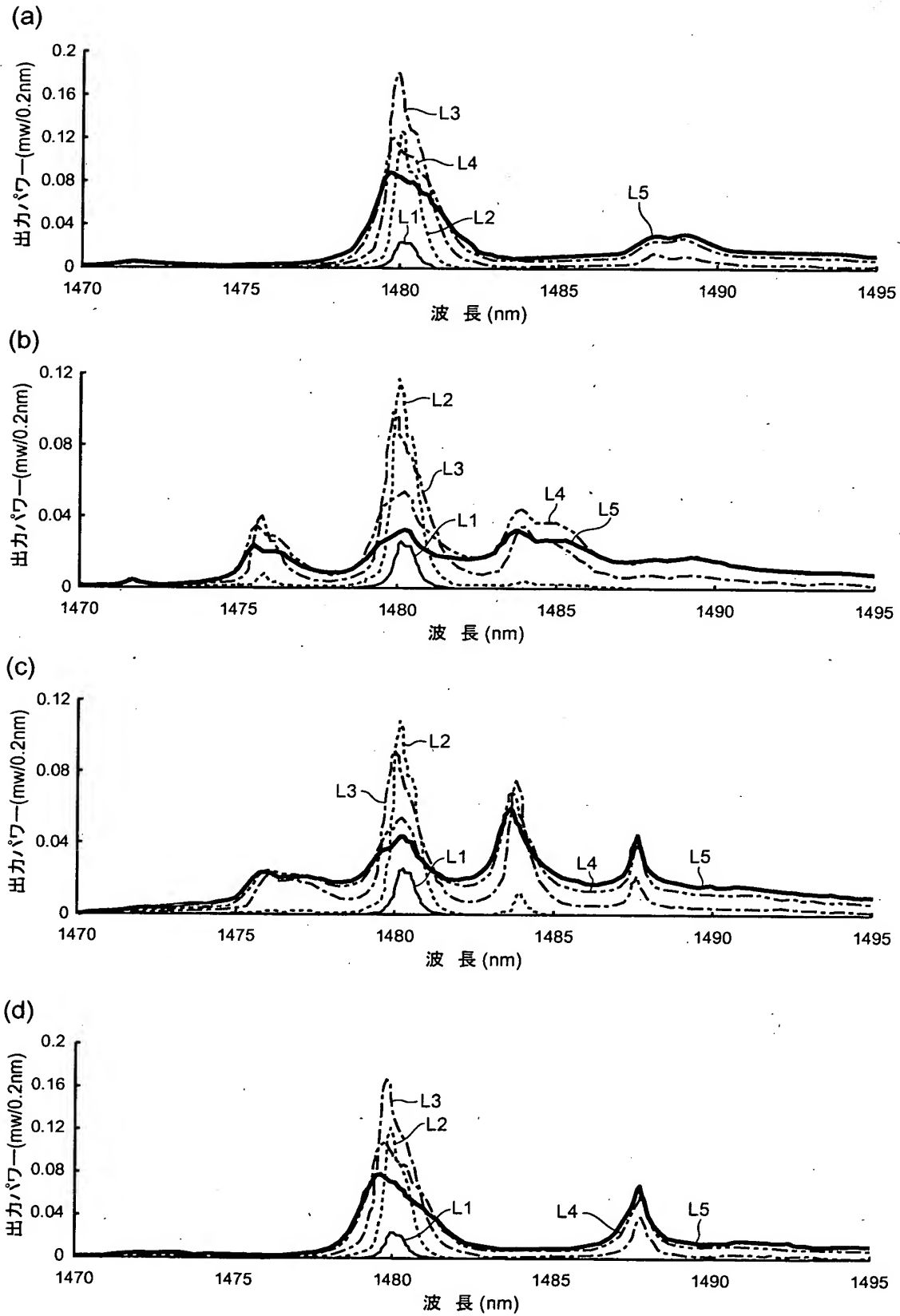
【図 2】



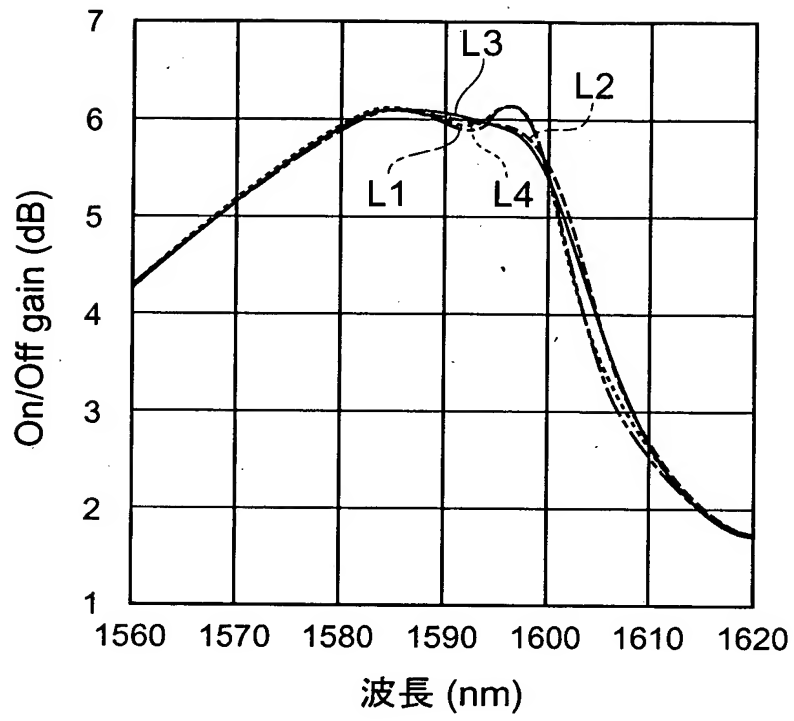
【図 3】



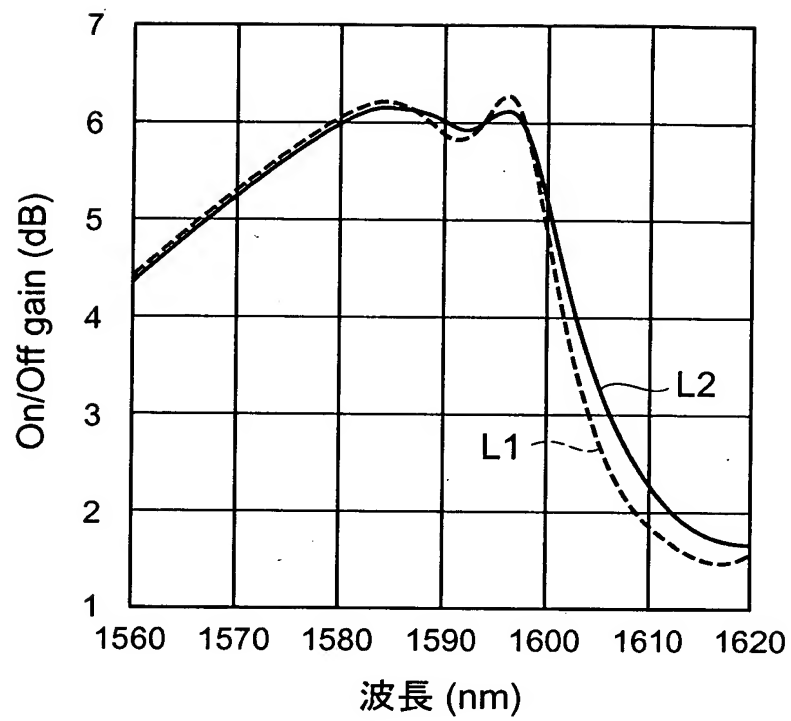
【図 4】



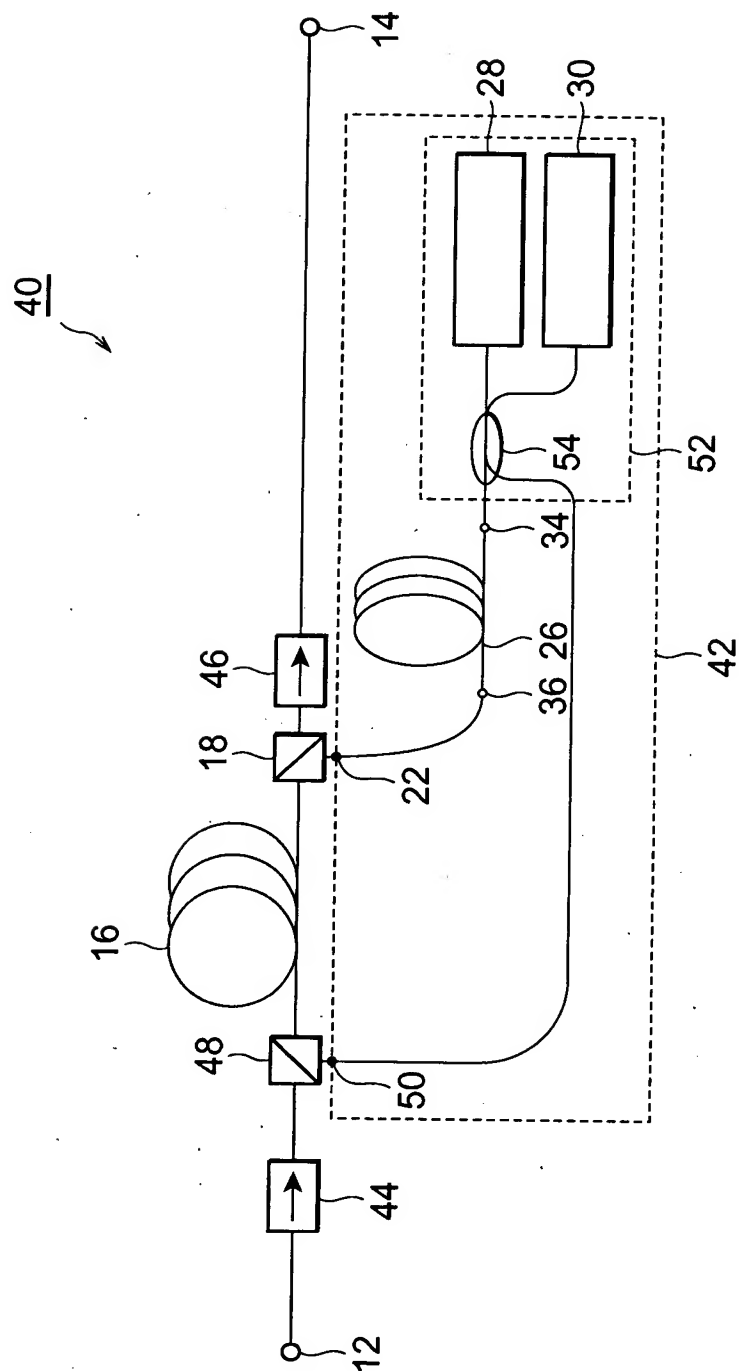
【図 5】



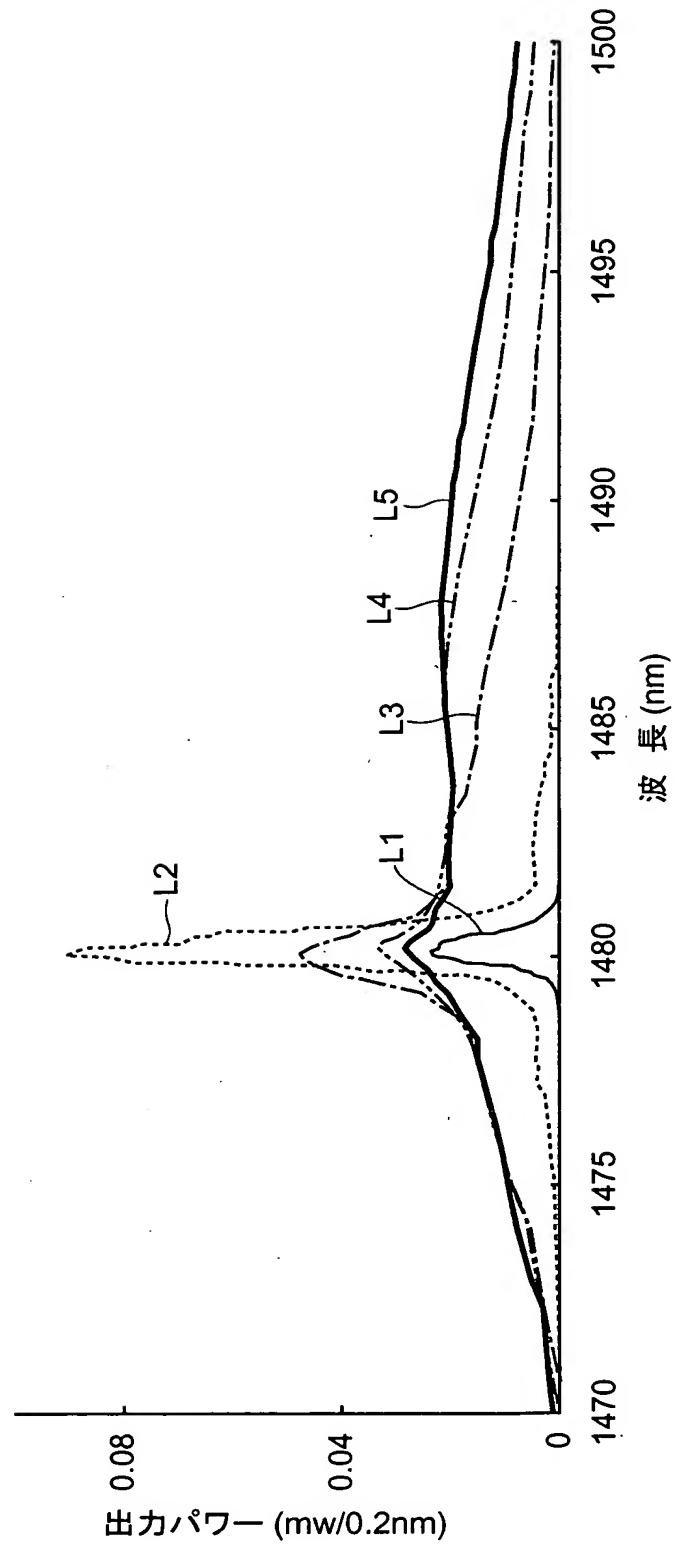
【図 6】



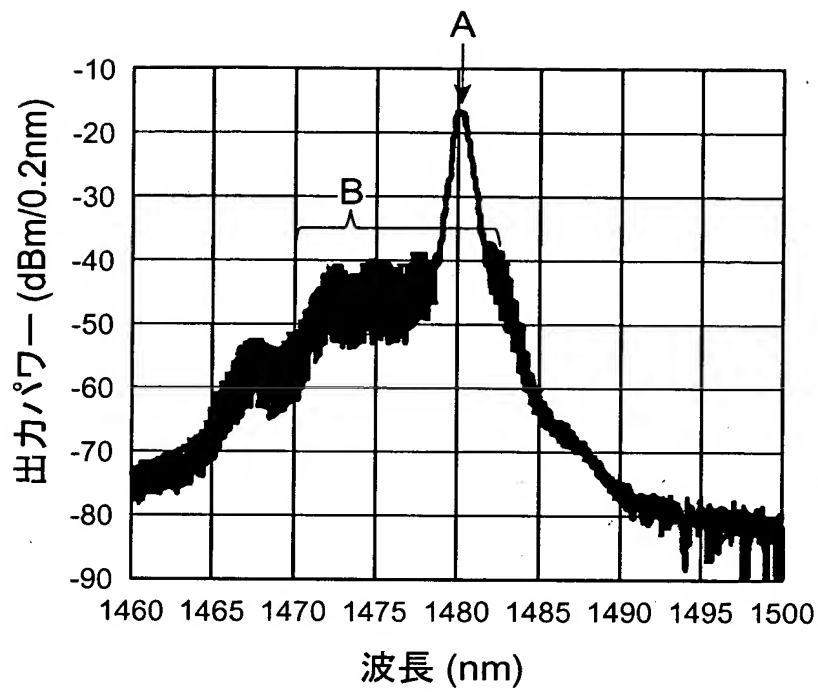
【図 7】



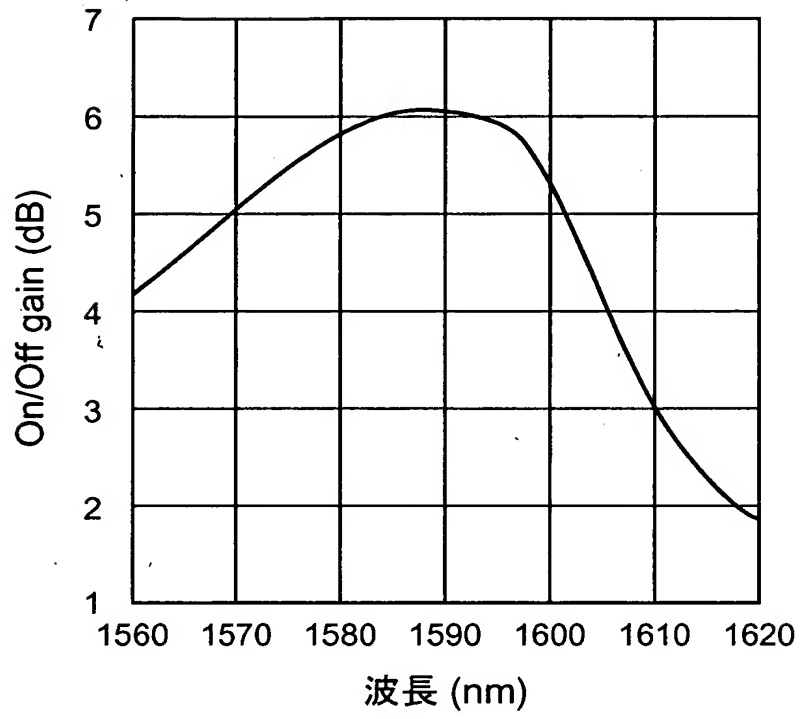
【図 8】



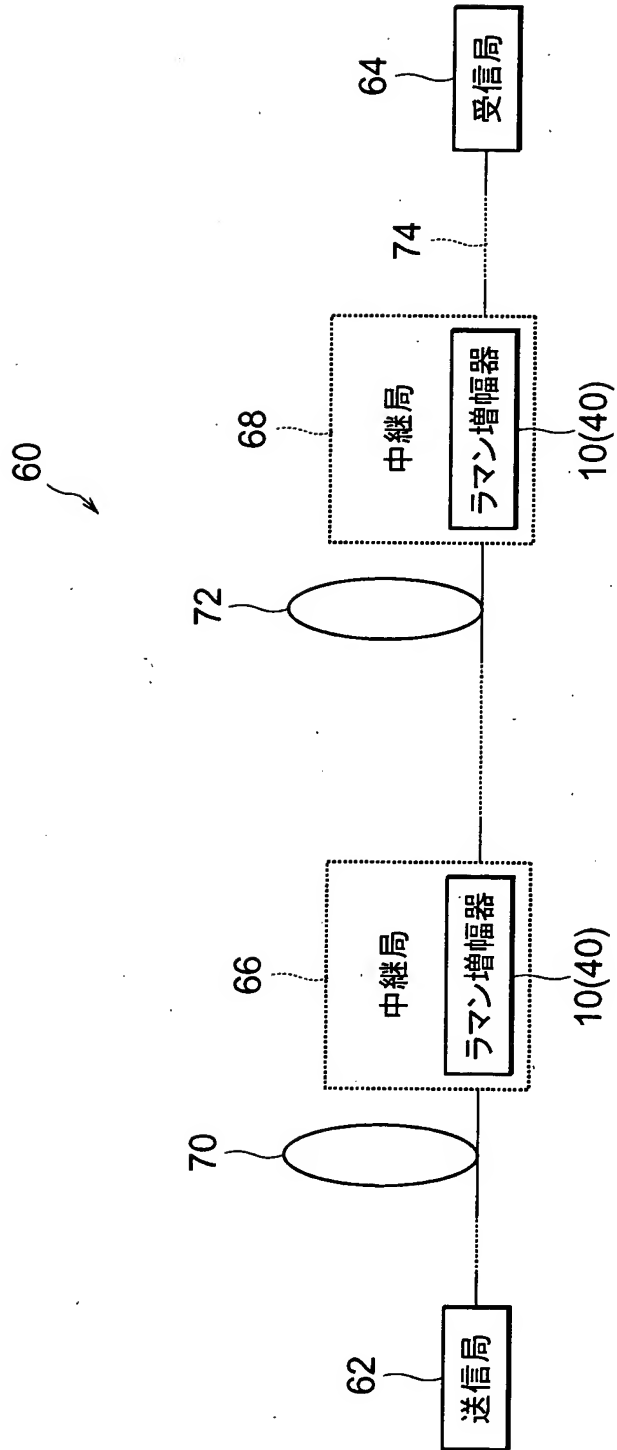
【図9】



【図 1 0】



【図 1 1】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 励起光のスペクトル幅拡大を低出力の励起光源により実現可能なラマン増幅用励起モジュールを提供する。

【解決手段】 ラマン増幅用励起モジュール 2 0 は、光導波路を伝搬する信号光をラマン増幅するための励起光を出力するモジュールである。このモジュール 2 0 は、互いに異なる 2 以上の出力ピーク波長を有する光を出射する光源システム 2 4 と、入力ポート 3 4 と出力ポート 3 6 とを有し、入力ポート 3 4 から入力された光源システム 2 4 からの光に非線形効果を及ぼして、出力ポート 3 6 から励起光として出力する非線形媒質体 2 6 と、を備える。

【選択図】 図 3

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [000002130]

1. 変更年月日 1990年 8月29日

[変更理由] 新規登録

住 所 大阪府大阪市中央区北浜四丁目5番33号
氏 名 住友電気工業株式会社